

繰り返し相対重力観測で明らかになった桜島火山における
1990年代以降の重力時空間変化

Spatiotemporal Gravity Changes Around Sakurajima Volcano since the 1990s
Revealed by Repeated Relative Gravity Observations

○大柳諒・風間卓仁・山本圭吾・井口正人・岡田和見・大島弘光

○Ryo OYANAGI, Takahito KAZAMA, Keigo YAMAMOTO, Masato IGUCHI,
Kazumi OKADA, Hiromitsu OSHIMA

We modeled spatiotemporal mass variations in Sakurajima Volcano during the volcanically quiet period from 1992 to 2018, using campaign relative gravity and crustal deformation data. Two spherical pressure sources under Sakurajima Volcano were first estimated from the deformation data such as leveling and GNSS. Gravity variations due to the pressure changes in the volcano was then subtracted from the observed relative gravity data, but the residual gravity was found to still increase at the center of the volcano. The gravity residual was finally reproduced by a point mass increase of 1.9×10^{10} kg/yr at 3 km depth below sea level under the Kita-dake summit. This result implies that volcanic mass has been increasing under Sakurajima Volcano even during the quiet period, although the mass increasing rate is about one third of that during the active period from 1975 to 1992.

1. 桜島における相対重力測定

重力観測は火山内部の質量移動を直接捉えることができるため、火山活動の監視において有効な手段の1つである。桜島火山では、1975年から相対重力観測が開始され、2018年までに計20回の繰り返し観測が実施されてきた。このうち、南岳噴火の活発期である1975年～1992年については風間ほか(2018)によって長期的な地殻変動および重力変化のモデル化が行われた。それによると、水準測量で得られた桜島内外の上下変位は2つの球状圧力源の収縮で説明できるが、桜島島内における相対重力値の上昇についてはこれらの球状圧力源の収縮では十分再現できないことが分かった。そこで風間ほか(2018)は北岳直下の海拔下5 kmに地殻変動を伴わないような質量増加を仮定し、この地点で $6.0 \text{ E}+10$ kg/yr(年間6000万トン)の質量蓄積があれば桜島島内の相対重力変化を説明できることを示した。しかしながら、風間ほか(2018)でモデル化されたのは1975年～1992年の相対重力変化であり、それ以降現在までの時期に対する質量変動モデルは提案されていない。桜島直下における質量蓄積が現在も継続しているかどうかを知ることは、今後の桜島の火山活動を予測する上でも非常に重要である。

2. 1990年代後半以降の地殻変動と相対重力変化

そこで本研究は、1990年代後半から2018年に至る約20年間のGPSデータ、水準測量データおよび相対重力データを解析し、この期間の長期的な圧力源変動および質量変動を以下のようにモデル化した。まず、我々はTakayama and Yoshida (2007)の手法を用いてGEONET F3解の水平変位場から桜島の火山活動以外のテクトニックな地殻変動場を補正した。次に、始良カルデラ直下におけるマグマだまりおよび桜島直下のマグマだまりの膨張・収縮を想定し、テクトニック場補正後の地殻変動データおよび水準測量から得られた島内の鉛直変動をMogi (1958)の球状圧力源モデルによって再現した。このとき、球状圧力源の位置や膨張量はグリッドサーチ法によって決定した。その結果、始良カルデラ中央部の深さ10.5 kmに $8.0 \text{ E}+6$ m³/yr、および桜島南岳直下深さ3 kmに $-3.5 \text{ E}+5$ m³/yrの体積膨張速度を持つ球状圧力源が存在すれば、GEONETおよび水準の地殻変動場を最もよく再現できることが分かった。この球状圧力源に伴う重力変化は萩原(1977)の式によって計算できるが、そもそも地球上では地殻変動に伴う地球重心との距離変化が最も重力変化に効くため、圧力源膨張(による地殻隆起)に対する重力変化は負の値を取る。しかしながら、同期間に桜島島内で観測された重力変化速度は正の値を持っているので、

球状圧力源の膨張だけでは桜島の重力変化を説明できないことが分かる。

3. 推定された質量変動

図1の赤色矢印は、重力変化速度の観測値から球状圧力源(赤色丸印、青色丸印)の変動に伴う寄与を補正したものである。補正後の重力変化速度は北岳山頂部の S423 で最も大きく、+8.49 microGal/yr となった。ここで我々は、この重力時空間変化を再現するために点的な質量変動源に伴う理想的な重力変化を計算した。なお、この計算に必要なパラメーター(点質量源の位置や質量変動速度)は前章と同様にグリッドサーチ法によって決定した。その結果、桜島中央部(緑色丸印)の海拔下 3.2 km の位置に 1.9×10^{10} kg/yr(年間 1900 万トン)の質量増加が存在すれば、桜島島内における 1990 年代以降の重力変化をよく再現できることが分かった(緑色矢印)。すなわちこの結果は、桜島直下における質量増加は火山活動静穏期である 1990 年代以降現時点まで継続しているものの、その増加速度は南岳活発期(1970 年代~90

年代前半)の 1/3 程度に低下している、ということを示唆している。

4. 本研究の課題および今後の方針

本研究では大きさ無限小の点質量モデルによって重力残差(図1の赤色矢印)を再現したが、この質量増加の物理メカニズムについては別途検討する必要がある。火山内部における質量増加のメカニズムとして、火道などの空隙における質量充填や、過剰脱ガスによるマグマだまり内部の密度増加(Shinohara, 2008)などが考えられる。今後これらの物理プロセスの存在を検証するには、桜島での物理探査やガス観測の結果などを精査する必要がある。また、本研究では現時点まで地球媒質を半無限弾性体として扱ってきたが、実際の火山地形が地殻変動や重力変化に及ぼす影響についても今後検討する必要がある。以上の問題点を解決することで変動モデルを洗練化し、桜島内部の質量移動プロセスをより明らかにしていきたい。

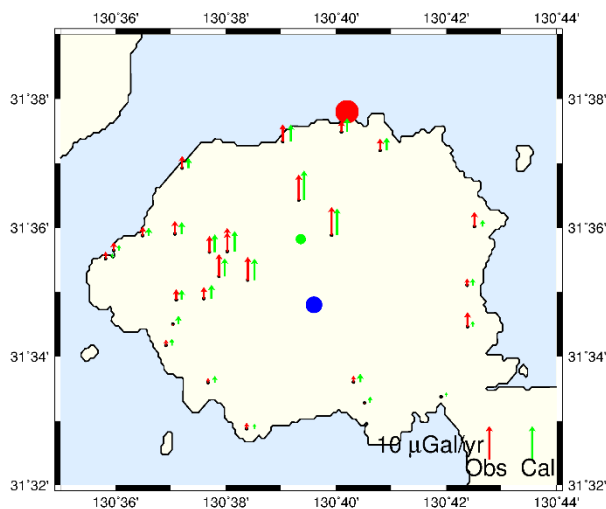


図1: 1990 年代以降の桜島火山における重力変化。赤色矢印が球状圧力源(赤色および青色の円)の寄与を補正した重力変化の観測値。緑色矢印が点的な質量変動源(緑色の円)に伴う重力変化の計算値。

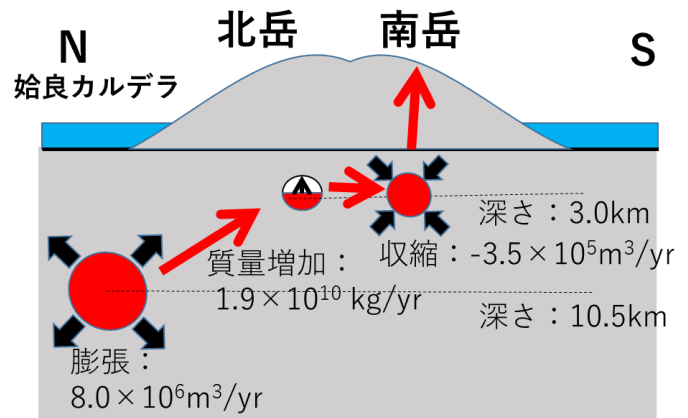


図2: 桜島火山直下における変動モデルの概念図。地殻変動を説明するには始良カルデラ直下の深部に膨張源が、南岳直下の浅部に収縮源が必要であり、さらに重力変化を説明するには桜島中央部の浅部に質量増加が必要である。